

## PENAMBAHAN TEMBAGA PADA KOMPOSIT PP/C DAN PENGARUHNYA PADA SIFAT MEKANIK DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK PELAT BIPOLAR KOMPOSIT PP/C-Cu

Anne Zulfia<sup>1\*)</sup>, Taufik Abimanyu<sup>1</sup>, dan Verina Warga Dalam<sup>2</sup>

1. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

2. Puslitbangtek Ketenagalistrikan dan Energi Baru Terbarukan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [anne@metal.ui.ac.id](mailto:anne@metal.ui.ac.id)

---

### Abstrak

Pelat bipolar merupakan komponen utama dari *polymer electrolyte membrane* (PEM) *fuel cell* yang memiliki fungsi utama mengumpulkan dan memindahkan elektron dari anoda dan katoda. Oleh karena itu material untuk pelat bipolar harus memiliki konduktivitas listrik yang tinggi. Untuk mendapatkan pelat bipolar yang murah, ringan, dan memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, maka dikembangkanlah pelat bipolar yang terbuat dari komposit PP/C-Cu. Proses pembuatan komposit PP/C-Cu ini menggunakan proses *compounding*, *rheomix*, *hot blending*, dan *hot press*. Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi tembaga yaitu 0,1 wt%, 1 wt%, dan 2 wt%. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk tembaga secara umum meningkatkan nilai densitas, kekuatan tarik, kekuatan tekuk, modulus tekuk, modulus tarik, elongasi, konduktivitas, dan mengurangi porositas, tetapi nilai konduktivitas listrik masih di bawah standar yang dipersyaratkan untuk *bipolar plate fuel cell*.

### Abstract

**Effect of Copper Addition on Mechanical Properties and Electrical Conductivity of PP/C-Cu Bipolar Plate Composites.** Bipolar plate is a major component in PEM fuel cell which possess main function of collecting and removing electrons from anode to cathode. Therefore, materials for bipolar plates produced must have high electrical conductivity. To obtain bipolar plate materials which is cheap, lightweight and high conductivity, so it is developed bipolar plates material based on PP/C-Cu composite. PP/C-Cu composites has been made by mixing all materials then compounding, rheomix, hot blending and hot press. Cu (*Copper*) has been used various from 0.1 wt%, 1 wt% to 2 wt% to increase electrical conductivity of PP/C-Cu composite. It is found that the effect of Cu addition in PP/C-Cu composite has increased tensile strength, flexural strength, flexural modulus, tensile modulus, elongation, electrical conductivity and decrease porosity, unfortunately the value of electrical conductivity was still lower than standard requirement for bipolar plate fuel cell.

**Keywords:** *bipolar plates, electrical conductivity, mechanical properties, PEM fuel cell, polypropylene matrix composite*

---

### 1. Pendahuluan

*Polymer electrolyte membrane fuel cell* (PEMFC) merupakan salah satu jenis *fuel cell* yang membran elektrolitnya terbuat dari polimer. *Fuel cell* adalah suatu peralatan elektrokimia yang menggunakan bahan bakar hidrogen untuk menghasilkan elektron, proton, panas, dan air [1]. PEMFC dapat menjadi sumber energi listrik alternatif yang menjanjikan di masa depan untuk aplikasi stasioner dan transportasi. Keunggulan yang

dimiliki oleh PEMFC dibandingkan dengan sumber energi lain antara lain adalah efisiensi dan kerapatan arus yang tinggi, temperatur operasi yang rendah, ketersediaan suplai bahan bakar, dan umur pakainya lama [2].

Bagian-bagian yang menyusun PEMFC antara lain adalah pelat bipolar, pelat penutup, *membrane electrolite assembly* (MEA), dan penyimpan arus [3]. Salah satu bagian paling penting yang menyusun

PEMFC adalah pelat bipolar. Pelat bipolar merupakan komponen PEM *fuel cell* yang memenuhi 80% volume, 70% bobot, dan 60% dari biaya produksi [2,4]. Pelat bipolar merupakan pelat konduktif yang terdapat di dalam PEMFC yang bertindak sebagai anoda untuk satu sel dan katoda untuk sel yang saling berdekatan [5]. Fungsi dari pelat bipolar adalah untuk mengumpulkan arus dari masing-masing MEA yang terletak diantara pelat konduktif yang biasanya disebut dengan anoda dan katoda [3]. Pelat bipolar dibuat dari material yang mampu mengalirkan listrik dan tidak dapat ditembus gas. Selain itu pelat bipolar yang dihasilkan harus memiliki sifat-sifat yang telah ditetapkan oleh Department of Energy America (DOE).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan pelat bipolar dengan sifat-sifat yang sesuai dengan standar DOE. Penelitian pelat bipolar yang sedang dikembangkan adalah dengan menggunakan komposit PP/C. Komposit PP/C merupakan jenis komposit dengan menggunakan polimer sebagai matriknya dan karbon sebagai penguatnya. Tujuan dipilih komposit PP/C untuk membuat pelat bipolar adalah untuk menggabungkan sifat-sifat yang baik dari kedua material tersebut, sehingga akan didapatkan material baru dengan sifat yang baik.

Polimer *polypropylene* (PP) dipilih sebagai matriks karena memiliki beberapa kelebihan antara lain harganya murah, ketersediaan jumlah yang memadai, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki sifat-sifat mekanik yang baik, serta tidak tembus air maupun udara [6]. Sedangkan karbon digunakan sebagai penguat dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit tersebut.

Penambahan Cu pada komposit PP/C adalah untuk meningkatkan sifat konduktivitas karena Cu memiliki nilai konduktivitas yang tinggi yaitu sebesar  $5,80 \cdot 10^5$  S/cm [7]. Hal ini disebabkan karena pelat bipolar yang dihasilkan harus memiliki nilai konduktivitas yang tinggi yaitu  $>100$  S/cm [3]. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dibuat pelat bipolar dari komposit PP/C-Cu.

## 2. Metode Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan untuk penelitian adalah campuran antara *polypropylene* (PP), *Polypropylene grafit-Maleated-anhydride* (PP-g-MA), karbon serat, karbon hitam, grafit, anti oksidan dan tembaga. Komposisi bahan-bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Proses pencampuran dilakukan dengan menggunakan mesin *hot blending* dengan  $T_{\text{proses}}$ : 180 °C, waktu (t): 6 menit. Setelah itu dilakukan *proses crushing* untuk mendapatkan pelet komposit PP/C-Cu. Pembuatan

**Tabel 1. Komposisi dan Pengkodean Sampel**

Bahan yang digunakan	Satuan	F1	F2	F3
<i>Polypropylene</i> (PP)	%wt	13,9	13	12
	gr	41,7	39	36
Karbon hitam cabot vulcan xc 72	%wt	20	20	20
	gr	60	60	60
Serat karbon fortafile 243	%wt	40	40	40
	gr	100	100	100
Grafite 4012	%wt	20	20	20
	gr	60	60	60
PP-g-MA	%wt	5	5	5
	gr	15	15	15
Anti Oksidan CN-CAT A 215	%wt	1	1	1
	gr	3	3	3
Cuprum (Cu)	%wt	0,1	1	2
	gr	0,3	3	6
Total	gr	300	300	300

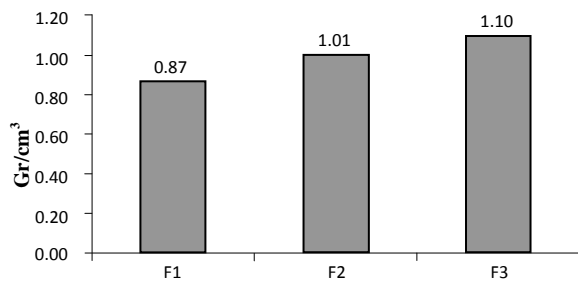
sampel komposit dilakukan dengan metode *hot pressing* dengan  $T_{\text{proses}}$ : 230 °C selama 2,5 menit dan didinginkan pada suhu kamar dengan waktu 1,5 menit.

Pembuatan spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASTM D638 type IV, sedang spesimen uji tekuk mengikuti ASTM D790 [8]. Pengujian sampel meliputi pengukuran kerapatan massa, pengujian tarik (*tensile*), pengujian tekuk (*flexural*), dan pengujian konduktivitas listrik. Mikrostruktur dan unsur-unsur yang terkandung di dalam sampel komposit PP/C-Cu dianalisis dengan *scanning electron microscopy* (SEM) dan *energy dispersive spectrometer* (EDS).

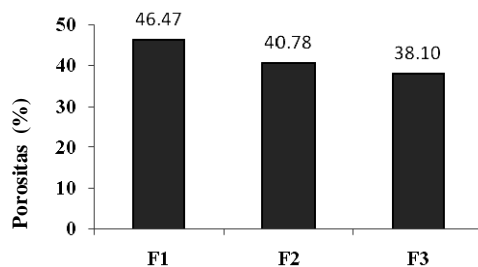
## 3. Hasil dan Pembahasan

**Pengaruh Penambahan Cu terhadap Densitas dan Porositas Komposit PP/C-Cu.** Nilai kerapatan massa komposit semakin meningkat dengan adanya penambahan serbuk Cu (Gambar 1). Hal ini karena serbuk Cu memiliki nilai densitas yang tinggi dibandingkan dengan bahan lain yaitu sebesar 8,9 gr/cm<sup>3</sup> [7] sehingga semakin besar jumlah serbuk Cu yang ditambahkan, nilai kerapatan massa komposit juga akan meningkat sesuai pula dengan hukum campuran pada komposit ini, hal ini juga berkaitan dengan menurunnya porositas (Gambar 2).

Porositas adalah adanya ruang kosong (*void*) yang terdapat di dalam sampel komposit. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa nilai porositas komposit PP/C-Cu berkurang dari F1 ke F3. Semakin kecil nilai porositas menunjukkan semakin sedikit juga rongga-rongga mikro (*micro void*) di dalam komposit tersebut. Sedangkan



Gambar 1. Kerapatan Massa Komposit PP/C-Cu



Gambar 2. Porositas Komposit PP/C-Cu

semakin banyak porositas berarti semakin banyak pula rongga-rongga pada komposit tersebut. Perbedaan jumlah porositas dari ketiga formula dapat diamati dengan menggunakan SEM seperti yang terlihat pada Gambar 3 yang ditunjukkan dengan panah berwarna putih.

Rongga-rongga mikro ini terbentuk karena adanya gas-gas yang terperangkap di dalam komposit. Gas-gas yang terperangkap ini dapat terjadi saat proses *hot press* pelet komposit. Hal ini disebabkan karena pelet komposit hasil *crushing* memiliki sifat *higroskopis* yaitu menyerap uap air [9-10]. Uap air yang terdapat di dalam pelet ini akan menguap ketika dilakukan proses *hot press* sehingga gelembung-gelembung gas akan terperangkap di dalam komposit dan akan menjadi pori. Pembasahan yang buruk (*dewetting*) antara serat karbon dengan bahan campuran dalam matrik PP juga mengakibatkan terbentuknya pori (Gambar 3).

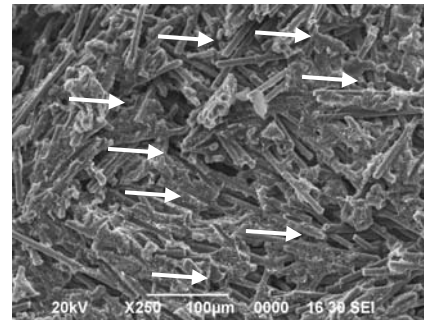
**Pengaruh Penambahan Tembaga terhadap Nilai Uji Tarik dan Tekuk Komposit PP/C-Cu.** Kekuatan tekuk, kekuatan tarik (Gambar 4), modulus tekuk, modulus tarik (Gambar 5), dan elongasi (Gambar 6) dari Komposit PP/C-Cu mengalami peningkatan dari F1 ke F3.

Kecenderungan peningkatan sifat mekanik dari komposit PP/C-Cu ini disebabkan karena pada sampel F1 terdapat rongga-rongga mikro yang lebih banyak dibandingkan pada sampel F3 (Gambar 3). Rongga-rongga mikro inilah yang akan menyebabkan rendahnya energi perpatahan dan menurunkan kekuatan mekaniknya.

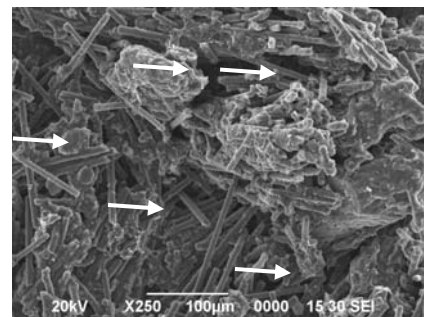
Rongga-rongga mikro tersebut akan menjadi titik konsentrasi tegangan (*stress concentration*) dan

bergabung membentuk retak yang akhirnya menyebabkan patahan [11]. Semakin tinggi porositas suatu komposit, maka energi yang diperlukan untuk mematahkan sampel juga akan semakin kecil sehingga menyebabkan nilai kekuatan tariknya menjadi turun.

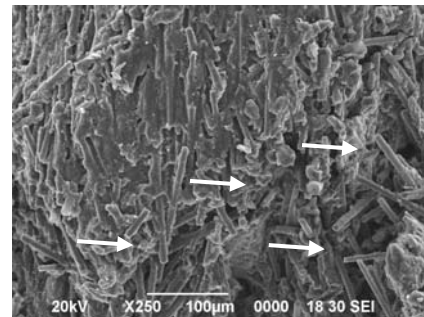
F1



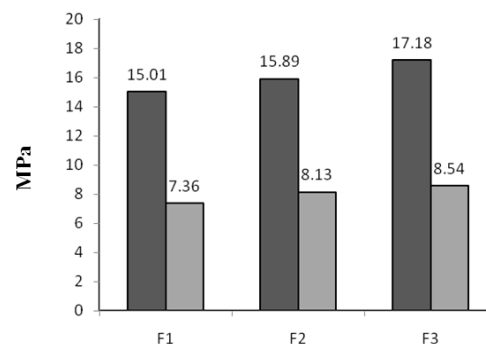
F2



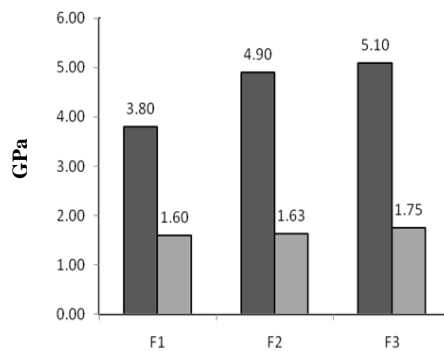
F3



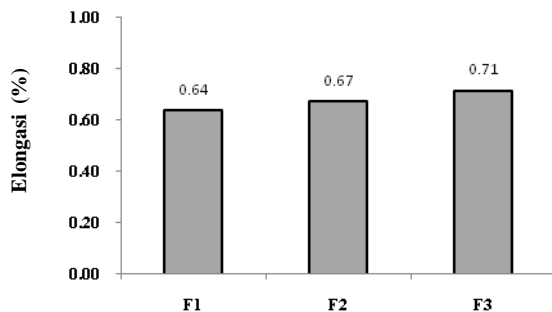
Gambar 3. Mikrostruktur dari Setiap Komposisi Hasil Analisis SEM Terlihat Porositas Akibat Dewetting antara Serat dan PP



Gambar 4. Grafik Nilai Kekuatan Tekuk dan Tarik. Kekuatan Tekuk (■), Kekuatan Tarik (■)



Gambar 5. Nilai Modulus Tekuk (■), dan Modulus Tarik (■)

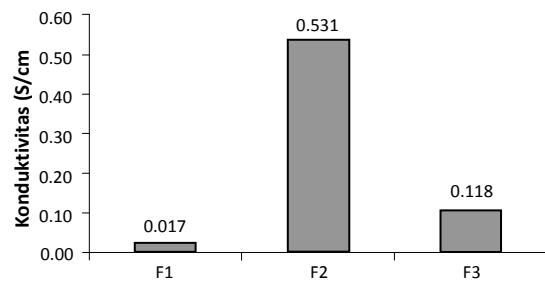


Gambar 6. Nilai Elongasi Komposit PP/C-Cu

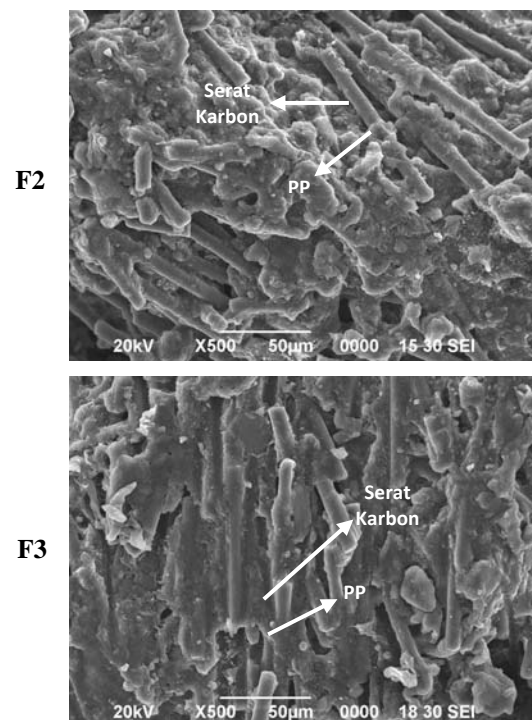
Kandungan tembaga di dalam komposit yang semakin meningkat dari F1 ke F3, yaitu dari 0,1 wt.% ke 2 wt.%. Penyebab peningkatan sifat mekanik ini adalah karena serbuk Cu memiliki sifat mekanik yang tinggi, yaitu kekuatan tarik sebesar 220 MPa.

Ikatan antara matrik dan *fiber* juga mempunyai pengaruh terhadap sifat mekanik dari sampel komposit. Dengan semakin rapatnya matrik dan *fiber*, maka *fiber* akan dapat menyerap energi pembebanan dengan baik sehingga ketika diberi pembebanan diperlukan energi lebih banyak untuk memulai terjadinya retak pada komposit [12-13]. Dengan semakin rapat ikatan antara matrik dan *fiber*, komposit tersebut juga akan semakin ulet. Dengan kata lain nilai elongasinya akan semakin meningkat. Hal ini terbukti dengan hasil penelitian ini dengan semakin rapat komposit yang dihasilkan (semakin sedikit porositas), maka nilai elongasinya juga akan semakin meningkat.

**Pengaruh Penambahan Tembaga terhadap Sifat Konduktivitas Komposit PP/C-Cu.** Penambahan serbuk tembaga (Cu) akan meningkatkan nilai konduktivitas listrik. Hal ini ditunjukkan dengan adanya peningkatan nilai konduktivitas dari sampel F1 ke F2, yaitu dari 0,017 S/cm menjadi 0,12 S/cm (Gambar 7). Penyebab meningkatnya nilai konduktivitas pada komposit PP/C-Cu adalah karena tembaga (Cu) memiliki konduktivitas yang tinggi sehingga ketika



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Konduktivitas



Gambar 8. Mikrostruktur Sampel F2 dan F3. Serat Karbon Terselimuti oleh Lelehan Polimer (PP dan PP-g-MA)

tembaga ditambahkan di dalam komposit, maka nilai konduktivitasnya juga meningkat sebesar  $5,80 \times 10^5$  S/cm. Peningkatan ini masih belum memenuhi kriteria pelat bipolar, yaitu 100S/cm.

Berbanding terbalik dari F2 ke F3 yang mengalami penurunan nilai konduktivitas dengan penambahan Cu. Penyebab turunnya nilai konduktivitas dari F2 ke F3 ini disebabkan karena pada sampel F3 lebih banyak serat karbon yang terselubungi oleh polimer dibandingkan dengan sampel F2. Seperti yang ditunjukkan perbandingan mikrostruktur sampel F2 dan F3 (Gambar 8).

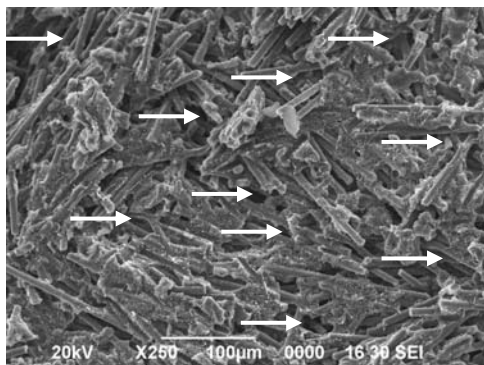
Gambar 8 menunjukkan bahwa serat karbon pada F3 lebih banyak terselimuti oleh *polypropylene* (PP) dibandingkan sampel F2. Karena *polypropylene* merupakan bahan yang konduktivitasnya sangat rendah

yaitu  $10^{-17}$  S/cm dan berfungsi sebagai isolator, maka serat karbon tidak dapat melakukan fungsinya untuk menghantarkan arus listrik dengan baik karena terselimuti oleh *polypropylene* [9,13]. Terselimutinya serat karbon oleh PP, mengakibatkan pergerakan elektron akan terhambat dan arus yang mengalir di antara material akan terhalang.

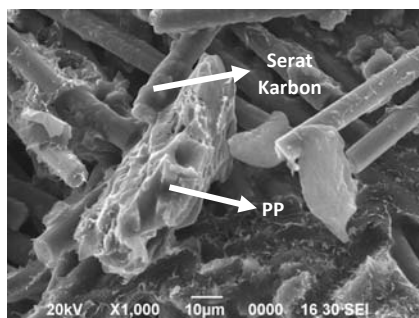
**Analisis Permukaan Patahan Komposit PP/C-Cu.** Pengamatan mikrostruktur yang dilakukan dengan SEM menunjukkan ternyata sampel komposit PP/C-Cu banyak memiliki rongga-rongga mikro (*micro void*; Gambar 9). Penyebab adanya *micro void* ini adalah karena bahan PP-g-MA yang berfungsi sebagai *coupling agent* antara matrik dan *fiber* tidak dapat melakukan fungsinya dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan kurang bagusnya ikatan antara matrik dan *fiber*.

Karena PP-g-MA tidak dapat berfungsi dengan baik, maka pembasahan antara matrik dengan *filler* pada komposit menjadi buruk. (Gambar 10). Serat karbon terorientasi secara acak dan matrik PP/PP-g-MA tidak membasahi serat karbon secara merata, hanya sedikit serat karbon yang terselimuti matrik. Selain itu rongga-rongga mikro ini terbentuk karena adanya gas-gas yang terperangkap di dalam komposit.

Pada Gambar 10 terlihat bahwa ikatan antarmuka antara serat karbon dan matrik PP kurang bagus sehingga ketika diamati mikrostrukturnya dengan menggunakan



Gambar 9. Mikrostruktur Sampel F1

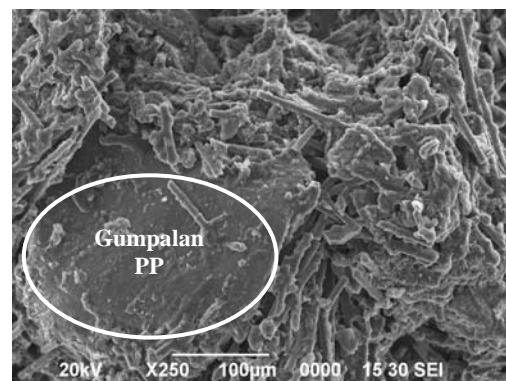


Gambar 10. Permukaan Patahan Spesimen Uji Tarik F1

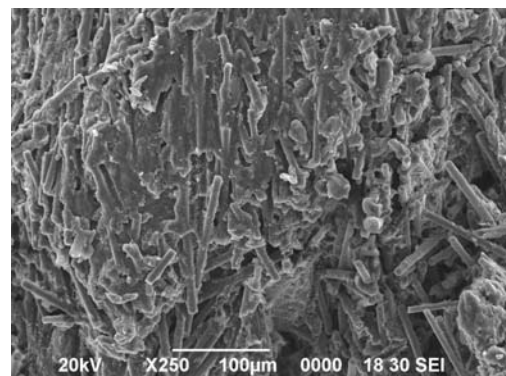
SEM terlihat jelas ada beberapa serat karbon yang tidak terselimuti oleh matrik PP/PP-g-MA. Tidak adanya serat karbon yang terselimuti oleh matrik ini menunjukkan lemahnya daya *wettability* dari matrik tersebut.

Gambar 11 memperlihatkan morfologi penyebaran bahan *polypropylene* (PP) yang tidak merata, membentuk gumpalan/kumpulan di lokasi tertentu. Penyebab adanya gumpalan-gumpalan PP ini adalah karena proses pendistribusian bahan yang tidak merata di sampel sehingga membentuk kumpulan-kumpulan bahan-bahan di tempat tertentu. Pendistribusian yang tidak merata dari bahan-bahan di dalam komposit disebabkan pada saat proses *compounding* maupun *hot blending* yang kurang baik. Penyebab lainnya adalah kurang berfungsinya PP-g-MA di dalam komposit tersebut sehingga dapat menyebabkan gumpalan ini terbentuk [14-16].

Permukaan patahan uji tekuk dari sampel F3 adalah datar (Gambar 12). Ini berarti patahan yang terjadi adalah perpatahan getas. Hal ini diperkuat juga dari data hasil penelitian nilai elongasi yang menunjukkan bahwa sampel komposit sangat getas dengan nilai elongasi <1%.



Gambar 11. Mikrostruktur Sampel F2. Bahan PP Membentuk Kelompok Tersendiri



Gambar 12. Permukaan Patahan Tekuk Sampel F3

#### 4. Simpulan

Penambahan serbuk tembaga secara umum akan meningkatkan nilai densitas, kekuatan tarik, kekuatan tekuk, modulus tarik, modulus tekuk, elongasi, dan konduktivitas serta mengurangi porositas. Peningkatan nilai konduktivitas nilainya masih jauh lebih rendah dari standar diperlukan yaitu 100S/cm, hal ini karena kompatibilitas PP-g-MA tidak berfungsi dengan baik untuk mengikat PP dengan C serta Cu karena terbukti konduktivitas listrik komposit tidak meningkat secara signifikan.

#### Daftar Acuan

- [1] R. Chris, S. Scott, Introduction to Fuel Cell Technology, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, University of Notre Dame, U.S.A., 2003, p.156.
- [2] EG & G Services Parsons Inc., Fuel Cell Handbook, 7<sup>th</sup> ed., West Virginia, U.S. Departement of Energy, 2004, p.I.37.
- [3] Y. Wang, Thesis Master of Applied Science, Chemical Engineering, University of Waterloo, Ontario Canada, 2006.
- [4] J. Larminie, A. Dicks, Fuel Cell Systems Explained, John Wiley & Sons Ltd., New York, 2000, p.303.
- [5] U.S. Fuel Cell Council, Fuel Cell Glossary, 2<sup>nd</sup> ed., Washington, 2000, p.38.
- [6] A. Weber, R. Darling, J. Meyers, J. Newman, In: W. Vielstich, A. Lamm, H.A. Gasteiger (Eds.), Handbook of Fuel Cells, Fundamentals, Technology and Applications, vol. 1, part 2, John Wiley & Sons Ltd., New York, 2003, p.449.
- [7] D.P. Wilkinson, J. St-Pierre, In: W. Vielstich, A. Lamm, H.A. Gasteiger (Eds.), Handbook of Fuel Cell, Fundamentals, Technology and Applications, vol. 3, Part 3, 2003, p.626.
- [8] ASTM International, Annual Book of ASTM Standards, vol. 08.01, West Conshohocken, U.S.A., p.D3159.
- [9] A. Zulfia, W.D. Verina, S. Yoghi, Prosiding Seminar Nasional Kluster Riset Teknik Mesin 2009, Potensi Pengembangan Energi Terbarukan dan Material Pendukung Konstruksi Energi Terbarukan, Surakarta, 2009, p.144.
- [10] Y. Suharjanto, Skripsi Sarjana, Departemen Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Indonesia, 2009.
- [11] D. Tripathi, Practical Guide to Polypropylene, Rapra Technology Ltd., Shrewsbury, UK, 2002, p.176.
- [12] D.P. Davies, P.L. Adcock, M. Turpin, S.J. Rowen, J. Appl. Electrochem. 30 (2000) 101.
- [13] M. Cliver, C. Teresa, Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook, Plastic Design Library, 1998, p.126.
- [14] K. Scott, W.M. Taama, P. Argyropoulos, J. Appl. Electrochem. 28 (1998) 1389.
- [15] K. Scott, In: W. Vielstich, A. Lamm, H.A. Gasteiger (Eds.), Handbook of Fuel Cell, Fundamentals, Technology and Applications, vol. 1, Part 2, 2000, p.70.
- [16] L. Quinfeng, H.A. Hjuler, N. Bjerrum, J. Electrochim. Acta 41 (1996) 4219.